

Kurzfassung

Titel: Algorithmen für die schnelle Analyse von Mehrphasenströmungen mittels elektromagnetischer Tomografie

Autor: Patrik Gebhardt

Zur echtzeitfähigen Analyse des Strömungs- bzw. Mischungsverhaltens mehrphasiger Stoffgemische in Rohrleitungssystemen wurde in dieser Arbeit das Verfahren der elektromagnetischen Tomografie untersucht. Dazu wurde zunächst eine vereinheitlichte Theorie zur Beschreibung des elektromagnetischen Verhaltens von Messsystemen der beiden Unterarten Elektrische Impedanz Tomografie (EIT) bei niedrigen Frequenzen der elektromagnetischen Feldgrößen und Mikrowellen Tomografie (MWT) bei höheren Frequenzen hergeleitet. Um die so aufgestellten Modellgleichungen für allgemeine Materialverteilungen im Messgebiet der Messsysteme lösen zu können, wurden numerische Approximationen der Gebiete und Gleichungen abgeleitet und an die Gegebenheiten der drei in dieser Arbeit betrachteten Messsysteme angepasst. Aufgrund der speziellen Geometrie dieser Sensoren, ließen sich zur Minimierung der Komplexität die zunächst im dreidimensionalen Raum betrachteten Modelle auf eine Reihe von zweidimensionalen Modellen zurückführen. Die zur Lösung des Abbildungsproblems der elektromagnetischen Tomografie verwendeten Verfahren wurden so auf die Sensorgeometrie angepasst, dass diese eine zweidimensionalen Querschnitt der Leitfähigkeitsverteilung in der Hauptmessebene der Sensoren erzeugen.

Für eine möglichst performante Implementierung der erarbeiteten Methoden, wurde sich der so genannten Graphics Processing Units (GPUs) bedient. Diese zeichnen sich durch eine stark parallelisierte Prozessorarchitektur aus, welche besondere Vorteile bei der Ausführung der nötigen Rechenoperationen mit sich bringen. Es konnte gezeigt werden, dass so eine mindestens 10-fache Geschwindigkeitssteigerung bei allen betrachteten Operationen im Vergleich zu einer hoch optimierten Implementierung auf CPUs möglich ist. Des Weiteren wurde gezeigt, dass durch die Kombination der auf die Sensorgeometrie angepassten Methoden zur Lösung des Abbildungsproblems zusammen mit deren hochoptimierten Implementierung auf GPUs es möglich ist deutlich mehr als 2000 Leitfähigkeitsverteilung pro Sekunde in Echtzeit zu rekonstruieren. Dies erlaubt es hoch transiente Vorgänge in den betrachteten Rohrleitungssystemen zu analysieren.

Zur Anwendung der erarbeiteten Methoden, wurden zunächst die Modelle des elektromagnetischen Verhaltens von drei Messsystemen der elektromagnetischen Tomografie an definierten Szenarien auf deren Genauigkeit hin untersucht und validiert. Im Weiteren wurden mit Hilfe dieser Modelle statische und dynamische mehrphasige Stoffgemische untersucht und die Eigenschaften der ermittelten Leitfähigkeitsverteilung hinsichtlich Auflösungsvermögen und Abbildungstreue analysiert. Anhand einer transienten Analyse einer zweiphasigen Strömung aus Öl und Gas wurde gezeigt, dass es möglich ist die verschiedenen Flussregime dieser Strömung zur Laufzeit zu detektieren.

Um die zur Lösung des Abbildungsproblems benötigten Modelle des elektrischen Verhaltens des Messsysteme zu verbessern, wurde unter anderem ein Verfahren zur Korrektur der zeitlichen Veränderung dieses Verhaltens erarbeitet. Dadurch wurde es möglich über mehrere Stunden hinweg eine konstante Abbildungsqualität zu gewährleisten, was mit herkömmlichen Methoden nur über einen Zeitraum von wenigen Minuten möglich ist. Des Weiteren wurde ein Verfahren zur Kalibrierung der systematischen Fehlerquellen der Messsysteme, aber auch anderer Störgrößen, wie z.B. der Rohrwand eines Sensors, erarbeitet und anhand von Messungen validiert. Es konnte gezeigt werden, dass es so möglich ist quantitativ korrekte Aussagen über die im Sensor vorhandene Leitfähigkeitsverteilung zu machen.